

Abstract DE10056645

Production of tear-free planar Group III-N, Group III-V-N and metal-nitrogen component structures on silicon substrates comprises partially structuring the silicon substrate or buffer layer deposited on it by masking and/or etching the surface in masked fields in the micrometer range before epitaxy or on an epitaxial layer. Preferred Features: The mask material is made from metal, metal nitride, metal oxide, BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and/or SiO<sub>2</sub>. The mask material is produced by photolithographic structuring and subsequent nitriding and/or oxidizing of the substrate.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 56 645 A 1**

51 Int. Cl.7:  
**H 01 L 21/20**  
C 30 B 25/02  
G 03 F 7/00  
H 01 L 33/00  
C 30 B 23/02

21 Aktenzeichen: 100 56 645.6  
22 Anmeldetag: 9. 11. 2000  
43 Offenlegungstag: 13. 9. 2001

4

DE 100 56 645 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:

Dadgar, Armin, Dr., 10963 Berlin, DE; Krost, Alois,  
Prof. Dr., 13587 Berlin, DE

72 Erfinder:

gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung von rißfreien, planaren Gruppe-III-N, Gruppe III-V-N und Metall-Stickstoff Bauelementestrukturen auf Si-Substraten mittels epitaktischer Methoden

57 Gruppe-III-N bzw. Gruppe-III-V-N Halbleiter wie z. B. GaN, InGaN oder InGaAsN werden meist auf Saphir- oder SiC-Substraten abgeschieden. Bei Bauelementen wie z. B. LEDs wird jedoch aufgrund des nichtleitenden Substrats eine aufwendige Strukturierung zur Rückseitenkontaktierung notwendig. Das Wachstum auf Si-Substraten bietet die Möglichkeit, auf großflächigen und im Vergleich von z. B. Saphir oder SiC preiswerten Substraten Gruppe-III-N, Gruppe-III-V-N bzw. Metall-Stickstoff Bauelemente abzuscheiden. Dabei ist die Vermeidung von Rissen - die hauptsächlich durch die thermische Fehlanpassung der Materialien verursacht werden - in den Bauelementen entscheidend für deren kommerzielle Nutzbarkeit. Das Verfahren ermöglicht es, rißfreie Gruppe-III-N Schichten auf Si-Substraten abzuscheiden und ermöglicht damit auch eine einfachere Kontaktierung einer Vielzahl von Bauelementen. Darüber hinaus können mit dem Verfahren Gruppe-III-N Bauelemente mit herkömmlicher Si-Elektronik integriert werden. Durch das Verfahren können preiswert Gruppe-III-N basierte Bauelemente wie z. B. Leuchtdioden, Laser, Photodetektoren und Transistoren auf Si-Substraten hergestellt werden.

DE 100 56 645 A 1

Die preiswerte Homoepitaxie auf GaN-Substraten ist aufgrund der derzeit geringen Größe und Qualität der verfügbaren GaN-Substrate nicht in kommerziellen Maßstäben möglich. Daher wird die kommerzielle Herstellung von Gruppe-III-Nitrid Schichten wie z. B. für blaue und grüne Leuchtdioden zur Zeit hauptsächlich auf Saphir- und SiC-Substraten durchgeführt. Die Substratkosten sind hierbei jedoch noch so hoch, daß sie für einen nennenswerten Teil der Bauelementkosten verantwortlich sind [Duboz]. Die Herstellung von Gruppe-III-N Bauelementschichten auf preiswerteren Substraten kann daher die Kosten der Bauelemente weiter reduzieren. Außerdem ist bei Verwendung des isolierenden Saphir als Substrat z. B. bei Leuchtdioden eine aufwendige und kostenintensive Strukturierung zur Rückseitenkontaktierung der Bauelemente notwendig, wie z. B. bei Mayer et al. [Mayer]. Das großflächige Wachstum auf Saphir und SiC ist derzeit mangels verfügbarer Substrate nicht möglich, was sich negativ auf die Ausbeute pro Fläche auswirkt, da, bedingt durch den nicht verwendbaren Waferrand von einigen Millimetern, sie bei kleinem Substratdurchmesser immer geringer ist als bei großem. Jedoch zeichnet sich seit wenigen Monaten zumindest beim Saphir ein Umstieg zu Substraten mit 4" bzw. 10 cm Durchmesser ab. Das Wachstum auf Si bietet aufgrund der Verfügbarkeit von Substraten bis zu derzeit 30 cm Durchmesser die Möglichkeit mit sehr preiswerten Substraten die Ausbeute weiter zu erhöhen und bei vielen Bauelementen auch eine einfachere Strukturierung als auf Saphir zu ermöglichen. Derzeit liegen die Substratpreise von Si über einen Faktor 10 unter denen von Saphir und mindestens einen Faktor 50 unter denen von SiC. Si-Substrate ermöglichen es außerdem, nitridhaltige Bauelementstrukturen mit der bestehenden Si-Technologie zu integrieren.

Es gibt daher starke Bestrebungen Gruppe III-N Schichten auf Si-Substraten abzuschneiden. Dabei wird das Wachstum auf den Si (111) Flächen favorisiert [Auner, Guha98, Kobayashi, Nikishin, Sánchez-Garcia, Schenk, Tran]. Alternativ ist z. B. auch das Wachstum bei optimierten Parametern auf Si (100) Flächen [Wang] und insbesondere auf mit (111) V-Gräben strukturiertem Si (100) möglich [DE 197 25 900 A1]. Es gibt in der MOCVD zum Wachstum auf Si unterschiedliche Ansätze, die alle eine schützende Niedertemperaturschicht auf dem Si-Substrat vorsehen, um die Nitridierung des Substrats zu vermeiden, einem allgemeinen Problem der Epitaxie von nitridischen Halbleitern auf Si [Ito, Nikishin, Tran]. Diese Untersuchungen gehen bisher jedoch allgemein nicht über prinzipielle Machbarkeitsstudien hinaus. So wurde vor kurzem von Guha et al. und Tran et al. [Guha, Tran] die Machbarkeit einer LED Struktur auf Si demonstriert.

Hauptproblem der Epitaxie von Gruppe III-N Schichten auf Si-Substraten ist die thermische Fehlanpassung der Materialien, die insbesondere beim Wachstum bei hohen Temperaturen von über 1000°C – wie sie z. B. in der Gasphase-epitaxie üblich sind – ab Schichtdicken oberhalb von ca. 1 µm zur unkontrollierbaren Rißbildung führt oder bei Wachstumsmethoden, die bei niedrigeren Temperaturen arbeiten, wie z. B. der MBE, keine Schichtdicken oberhalb von ca. 3 µm zulassen. Dabei kommt es je nach Prozeßführung zur Rißbildung mit Abständen von ca. 10–500 µm zwischen den Rissen. Definiert man auf einem Substrat oder einer vorher abgeschiedenen Epischicht wie in Anspruch 1 genannt Felder beliebiger Form im Mikrometerbereich, d. h. zwischen ca. 1 µm bis zu 1 mm, von z. B. 200 × 200 µm<sup>2</sup> – was z. B. für eine LED Struktur geeignet ist – so ist die aufgewachsene Schicht in diesem Bereich zwar verspannt, aber

baut noch nicht so viel Verspannungsenergie auf wie eine geschlossene Schicht und besitzt folglich keine Risse, selbst bei Schichtdicken weit oberhalb von z. B. 1 µm, die für viele Bauelemente notwendig sind. Man kann diesbezüglich die zwischen den bewachsenen Flächen entstehenden Bereiche als vorher festgelegte Risse ansehen und auch von einer gezielten Rißführung sprechen. Dabei darf die Größe der Felder nur so groß sein, daß die aufgebaute Verspannungsenergie nicht zur Rißbildung führt, was abhängig von der Form der Felder und der Schichtstruktur ist. Geeignet z. B. für eine einfache GaN-basierte LED Struktur mit mehreren µm Dicke auf Si(111) sind z. B. bei quadratischen Feldern Kantentlängen von ca. 200–150 µm.

Für die kommerzielle Herstellung von Bauelementen wie z. B. LEDs oder Transistoren ist die Vermeidung von Rissen entscheidend. Die Definition von Bereichen für die selektive Epitaxie auf Si-Substraten wird schon in der Literatur berichtet, jedoch nur um spezielle Halbleiterschichten bzw. Formen herzustellen. Fas alle Ansätze haben nicht zum Ziel, Risse in den Epischichten zu vermeiden, sondern dienen entweder zum Wachstum von nichtplanaren Strukturen, z. B. um sie als Feldemitter zu nutzen [Yang99, Kawaguchi98], dem lateralen epitaktischen Überwachsen zur Verbesserung der Kristallqualität [Marchand], der einfacheren Integration mit der Si-Bauelementetechnologie [Yang00] bzw. zu allgemeinen Wachstumsuntersuchungen [Guha99, Kawaguchi99b, Kim, Seon]. Rißfreiheit wird in der Fachliteratur bislang nur von Kawaguchi et al. [Kawaguchi99a] beschrieben der dies in aufgewachsenen GaN-Streifen erzielt, jedoch handelt es sich in diesem Beispiel um das Wachstum von nichtplanaren GaN-Streifen, d. h. von dreieckigen GaN-Streifen mit beliebiger Ausdehnung in eine Richtung und nur wenigen µm Ausdehnung in die andere. Rißfreiheit ist bei sich stark nach oben, in mindestens einer Dimension verjüngenden, Strukturen zu erwarten, da sich die Verspannungsenergie in mindestens einer Richtung kaum akkumuliert. Dies entspricht den schon erwähnten pyramidenförmigen Feldemitterstrukturen die aufgrund ihrer Form und Größe rißfrei sind. Die beschriebenen dreieckigen GaN-Streifen sind ferner aufgrund der Größe und Geometrie nur für sehr spezielle nichtplanare Bauelemente wie z. B. Feldemitterstreifen geeignet und aus den genannten Gründen nicht mit dem hier beschriebenen Verfahren vergleichbar.

In einer japanischen Anmeldung [JP 10042241] wird die Unterteilung in kleinere Bereiche durch das Verwenden einer metallischen Schattenmaske erzielt. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, welches nur in Molekularstrahltechniken Verwendung finden kann und durch Streuung der Moleküle bzw. Atome an den Maskenrändern zu unscharfen Strukturkanten führt, was die späteren Bauelementeigenschaften nachteilig beeinflussen kann. Auch unerwünschte Kontaminationen der abgeschiedenen Schicht aus der Maske bzw. Verschleppung von auf der Maske abgeschiedenen Material sind bei diesem Verfahren wahrscheinlich. Dies wird mit dem hier beschriebenen Verfahren vollkommen vermieden.

Die in den Unteransprüchen 2 bis 4 genannten Verfahren sind zur Strukturierung besonders geeignet. So lassen sich z. B. Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub> bzw. SiO<sub>x</sub> sehr einfach mittels gängiger Techniken wie z. B. CVD oder Sputtern herstellen, bzw. direkt durch Umwandlungsprozesse, d. h. Nitridierung bzw. Oxidierung des Substrats, wie in den Unteransprüchen 3 und 4 in zwei verschiedenen Varianten genannt. Jedoch sind auch andere Maskenmaterialien geeignet, auf denen kein Wachstum bzw. kein kristallines Wachstum stattfindet. Entscheidend ist, daß die Schichten in den verschiedenen definierten Bereichen nicht koaleszieren und dann als zusammenhän-

gende Schicht reißen können. Als Strukturierung sind Verfahren wie z. B. Photolithographie oder z. B. Printtechniken gemeint.

Besonders interessant ist die direkte Strukturierung auf dem Substrat ohne eine vorherige Abscheidung einer Pufferschicht, da dies einen Epitaxieschritt und folglich Kosten sparen hilft. Dabei kann durch geeignete Prozeßführung vermieden werden, daß es zu einer Bekeimung der maskierten Bereiche kommt. Ferner ist eine Bekeimung auch dann hinzunehmen, wenn auf den maskierten Bereichen – wie dann allgemein üblich – nur polykristallines oder amorphes Material wächst, was, durch die Materialqualität bedingt, nicht zu einer geschlossenen Schicht und somit zur Rißbildung über größere Bereiche der Substratfläche führt. Wird das Verhältnis von maskierten zu unmaskierten Bereichen groß gehalten, so kann dadurch auch eine starke und dann meist störende Wachstumsüberhöhung an den Rändern der Schicht vermieden werden.

Eine andere Variante der Schichtstrukturierung ist das in Unteranspruch 5 genannte Ätzen oder Absputtern von Substratmaterial und eventuell auch einer Pufferschicht, um entweder Gräben zwischen den späteren Bauelementen zu formen oder tiefergelegte Flächen, auf denen die Bauelemente entstehen, so daß es nicht zur Bildung einer geschlossenen aufgewachsenen Schicht kommt, bzw. die Kontaktpunkte an vertikalen Flächen so dünn sind, daß sie reißen. Gräben haben dabei den Vorteil, daß sie, als Gitter aufgebracht, gleichzeitig als Hilfe zum Vereinzeln der Bauelemente wie z. B. LEDs dienen können, da sie je nach Ausführung als Sollbruchstellen wirken.

Durch die Verwendung einer in Unteranspruch 6 erwähnten Niedertemperaturkeim- und/oder einer Pufferschicht wird ein gleichmäßiges Bekeimen bzw. Bewachsen des Substrats ermöglicht. Dabei ist unter Keimschicht eine wenige Nanometer dicke, nicht zwingend geschlossene, dreidimensionale Schicht zu verstehen, die trotz eventuell schlechter kristalliner und/oder stöchiometrischer Eigenschaften als Grundlage für das anschließende Schichtwachstum dient, bzw. von der aus das weitere Schichtwachstum ausgeht. Im Falle der Epitaxie auf Si ist sie auch häufig notwendig, damit eine Vorzugsorientierung vom unpolaren Si zum z. B. polaren GaN vorgegeben wird und somit darauf die Puffer- oder Bauelementschicht überhaupt erst abgeschieden werden kann. Bei geschickter Wahl der Abscheidungsparameter ist jedoch auch das Wachstum auf Si z. B. direkt mit einer Niedertemperaturpufferschicht als erster Schicht möglich. Solche Keim- und/oder Pufferschichten auf Si sind von außerordentlicher Wichtigkeit für das erfolgreiche Wachstum von Gruppe-III-N und Gruppe-III-V-N Schichten auf Si. Denn nur eine geschlossene Keim- und/oder Pufferschicht, z. B. aus einem Gruppe-III-V Material wie z. B. Material im System  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}_z\text{As}_p\text{P}_c$  ( $x+y+z=1$ ,  $a+b+c=1$ ) kann eine Nitridierung des Substrats bei höheren Temperaturen vermeiden. Dabei bedeutet "Niedertemperatur" abhängig vom Material immer eine Temperatur unterhalb der üblichen Wachstumstemperatur von nitridischen Halbleitern wie GaN und AlN, die in der MOCVD oberhalb von 1000°C liegt. Zum Wachstum einer Keim- bzw. Pufferschicht ist auch das in Unteranspruch 7 genannte Verfahren hilfreich, in dem die vorherige Abscheidung eines Metalls wie z. B. Al dazu dient die Si Oberfläche vor dem Einschalten von z. B.  $\text{NH}_3$  vor der störenden Nitridierung zu schützen [Nikishin].

Eine unerwünschte Bekeimung des Substrats kann durch das in Unteranspruch 8 genannte Verfahren, dem Verwenden von Halogenen als Zugabe während des Schichtwachstums, erreicht werden. [US 5036022]. Durch die damit erhöhte Mobilität der Atome und Moleküle auf der Wachstumsfront

kommt es zu einer geringeren Neigung der Bekeimung auf den maskierten Bereichen. Als Halogene bieten sich zum einen die reinen Stoffe an, insbesondere aber auch nichtorganische und organische Verbindungen dieser, da sie dann meist erst nahe dem Substrat ihre Wirkung entfalten und daher zu weniger unerwünschten Vor- und Nebenreaktionen neigen.

Da die Si Bandlücke nur ca. 1.1 eV beträgt, die mit einem z. B. auf GaN basierten optischen Bauelementen erzeugten Photonenenergien meist deutlich darüber, wird im Gegensatz zur Verwendung von Saphir-Substraten ein beträchtlicher Teil der emittierten Photonen im Si absorbiert. Um dies zu vermeiden bzw. zu reduzieren, können die in den Unteransprüchen 9 bis 12 beschriebenen Verfahren angewendet werden. Im Verfahren nach Anspruch 9 wird z. B. ein Metall ausreichender Dicke auf dem Substrat mittels Verdampfen, Sputtern oder Gasphasendeposition aufgebracht und dadurch die Reflektivität erhöht. Hier ist die sorgfältige Wahl z. B. des Metalls Voraussetzung, um anschließend hochwertige kristalline Schichten abscheiden zu können. Im Verfahren nach Anspruch 10 wird durch das Aufbringen einer teilweisen Maskierung in der Schicht auf den zu bewachsenden Feldern, also z. B.  $\text{SiO}_x$  und/oder  $\text{SiN}_x$  oder Metallstreifen aus z. B. W auf z. B. einer AlN bzw. GaN Keim- bzw. Pufferschicht und das anschließende Überwachsen, ein qualitativ hochwertiges Überwachsen wie z. B. bei Marchand et al. beschrieben, ermöglicht [Marchand]. Das Verfahren dient auch zum Abbau von Versetzungen. Diese Maskierung kann auch mehrmals und auch in versetzter Anordnung erfolgen, so daß die Effizienz dieser Schicht als Reflektor nach Anspruch 10, aber auch als materialverbesserndes Verfahren, erhöht wird.

Mit dem Verfahren nach Anspruch 11 können zwei Ziele zur Erhöhung der Lichtintensität verfolgt werden. Zum einen die Entspiegelung der oberen Grenzfläche für die entsprechende Lichtwellenlänge durch das Aufbringen einer oder mehrerer Schichten mit verschiedenen Brechungsindizes zueinander und/oder zur epitaktischen Schicht und/oder dem umgebenden Medium, welches meist Luft oder bei einer LED häufig ein Kunststoff ist. Zum anderen die Kombination zweier Braggspiegel zur Erzeugung eines vertikalen Lichtstrahls. Hier ist z. B. auch die Kombination mit Anspruch 10, 11 und/oder 12 für den unteren Spiegel sehr geeignet.

Unteranspruch 12 ist dabei eine Methode, um direkt im Substrat eine reflektierende Wirkung zu erzielen. Durch die Bildung von Hohlräumen, wie bei Mizushima et al. beschrieben, [Mizushima] die auch übereinander angeordnet sein können und z. B. zusätzlich eine teilweise Oxidation des umgebenden Si, kann man ein photonisches Gitter bzw. einen Braggreflektor, oder eine leicht reflektierende Schicht im Substrat integrieren.

#### Abkürzungen

Al = Aluminium  
As = Arsen  
BN = Bornitrid  
C = Kohlenstoff

CVD = chemical vapor deposition, Gasphasenabscheidung  
ELO, ELOG = Epitaxial Lateral Overgrowth, epitaktisches laterales Überwachsen  
Ga = Gallium  
Gruppe-III = Elemente aus der dritten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente  
Gruppe-V = Elemente aus der fünften Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente außer Stickstoff  
Gruppe-III-V = Verbindungshalbleiter aus Elementen der

dritten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente außer Stickstoff

Gruppe-III-N = Verbindungshalbleiter aus Elementen der dritten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente mit Stickstoff

Gruppe-III-V-N = Verbindungshalbleiter aus Elementen der dritten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente mit Stickstoff und einem weiteren Element der fünften Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente

In = Indium

LED = Light Emitting Diode/Device, lichtemittierende Diode/Bauelement

LEO = Lateral Epitaxial Overgrowth, laterales epitaktisches Überwachsen

MBE = molecular beam epitaxy, Molekularstrahlepitaxie  
MOCVD = metal organic chemical vapor phase deposition, metallorganische Gasphasenabscheidung

im vorliegenden Antragstext austauschbar mit

MOVPE = metal organic vapor phase epitaxy, metallorganische Gasphasenepitaxie und

HVPE = hydride vapor phase epitaxy, hydrid Gasphasenepitaxie

N = Stickstoff

NH<sub>3</sub> Ammoniak

P = Phosphor

Saphir = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Aluminiumoxid hier ist Korund miteingeschlossen

Si = Silizium; als Substrat sind außer gewöhnlichen Si-Substraten auch Substrate wie z. B. Silicon-on-insulator Substrate eingeschlossen

SiC = Siliziumcarbit

Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub> = Siliziumnitrid (x,y beliebig)

SiO<sub>x</sub> = Siliziumoxid

W = Wolfram

#### Referenzen

- [Auner]: G.W. Auner, F. Jin, V. M. Naik und R. Naik, Microstructure of low temperature grown AlN thin films on Si(111), *J. Appl. Phys.* 85, 7879 (1999)
- [Duboz]: J. Y. Duboz, Gallium Nitride as seen by the Industrie, *phys. stat. sol. (a)* 176, 5 (1999)
- [Guha98]: S. Guha und N. A. Bojarczuk, Multicolored light emitters on silicon substrates, *Appl. Phys. Lett.* 73, 1487 (1998)
- [Guha99]: S. Guha, N. A. Bojarczuk, M. A. L. Johnson und J. F. Schetzina, Selective area metalorganic molecular beam epitaxy of GaN and the growth of luminescent microcolumns on Si/SiO<sub>2</sub>, *Appl. Phys. Lett.* 75, 463 (1999)
- [Kawaguchi98]: Yasutoshi Kawaguchi, Yoshi Honda, Hidetada Matsushima, Masahito Yamaguchi, Kazumasa Hiramatsu und Nobuhiko Sawaki, Selective Area Growth of GaN on Si Substrate Using SiO<sub>2</sub> Mask by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, *Jpn. J. Appl. Phys.* 37, L966 (1998)
- [Kawaguchi99a]: Yasutoshi Kawaguchi, Shingo Nambu, Hiroki Sone, Masahito Yamaguchi, Hideto Miyake, Kazumasa Hiramatsu, Nobuhiko Sawaki, Yasushi Iyechika und Takayoshi Maeda, Selective area growth (SAG) and epitaxial lateral overgrowth (ELO) of GaN using tungsten mask, *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.* 4S1, G4.1. (1999)
- [Kawaguchi99b]: Y. Kawaguchi, Y. Honda, M. Yamaguchi, N. Sawaki und K. Hiramatsu, Selective Area Growth of GaN on Stripe-Patterned (111)Si Substrate by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, *phys. stat. sol. (a)* 176, 553 (1999)
- [Kim]: Esther Kim, A. Tempez, N. Medelci, I. Berishev und A. Bensaoula, Selective area growth of GaN on Si(111) by chemical beam epitaxy, *J. Vac. Sci. Technol. A* 18, 1130

(2000)

- [Kobayashi]: N. P. Kobayashi, J. T. Kobayashi, P. D. Dapkus, W.-J. Choi, A. E. Bond, X. Zhang und H. D. Rich, GaN grown on Si(111) substrate using oxidized AlAs as an intermediate layer, *Appl. Phys. Lett.* 71, 3569 (1997)
- [Marchand]: H. Marchand, N. Zhang, L. Zhao, Y. Golan, S. J. Rosner, G. Girolami, Paul T. Fini, J. P. Ibbetson, S. Keller, Steven DenBaars, J. S. Speck, U. K. Mishra, Structural and optical properties of GaN laterally overgrown on Si(111) by metalorganic chemical vapor deposition using an AlN buffer layer, *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.* 4, 2 (1999)
- [Mayer]: M. Mayer, A. Pelzmann, C. Kirchner, M. Schauler, F. Eberhard, M. Kamp, P. Unger, K. J. Ebeling, Device Performance of ultra-violet emitting diodes grown by MBE, *J. Cryst. Growth* 189/190, 782 (1998)
- [Mizushima]: I. Mizushima, T. Sato, S. Taniguchi und Y. Tsunashima, Empty-space-insilicon technique for fabricating a silicon-on-nothing structure, *Appl. Phys. Lett.* 77, 3290 (2000)
- [Nikishin]: S. A. Nikishin, N. N. Faleev, V. G. Antipov, S. Francoeur, L. Grave de Peralta, T. I. Prokofyeva, M. Holtz und S. N. G. Chu, High quality GaN grown on Si(111) by gas source molecular beam epitaxy with ammonia, *Appl. Phys. Lett.* 75, 2073 (1999)
- [Sánchez-García]: M. A. Sánchez-García, E. Calleja, E. Monroy, F. J. Sánchez, F. Calle, E. Muñoz, A. Sanz, Hervas, C. Villar und M. Aguilar, Study of high quality AlN layers grown on Si(111) substrates by plasma-assisted molecular beam epitaxy, *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.* 2, 33 (1997)
- [Schenk]: H. P. D. Schenk, G. D. Kipshidze, V. B. Lebedev, S. Shokhovets, R. Goldhahn, J. Kräußlich, A. Fissel, Wo. Richter, Epitaxial growth of AlN and GaN on Si(111) by plasma-assisted molecular beam epitaxy, *J. of Cryst. Growth* 201/202, 359 (1999)
- [Seon]: M. Seon, T. Prokofyeva, M. Holtz, S. A. Nikishin, N. N. Faleev und H. Temkin, Selective growth of high quality GaN on Si(111) substrates, *Appl. Phys. Lett.* 76, 1842 (2000)
- [Tran]: Chuong A. Tran, A. Osinski, R. F. Karlicek Jr. und I. Berishev, Growth of InGaN/GaN multiple-quantum-well blue light emitting diodes on silicon by metalorganic vapor phase epitaxy, *Appl. Phys. Lett.* 75, 1494 (1999)
- [Wang]: Lianshan Wang, Xianglin Liu, Yude Zan, Jun Wang, Du Wang, Da-cheng Lu und Zhanguo Wang, Wurtzite GaN epitaxial growth on a Si(001) substrate using  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as an intermediate layer, *Appl. Phys. Lett.* 72, 109 (1998)
- [Yang99]: Wei Yang, Scott A. McPherson, Zhigang Mao, Stuart McKernan, C. Barry Carter, Single-crystal GaN pyramids grown on (111)Si substrates by selective lateral overgrowth, *J. Cryst. Growth* 204, 270 (1999)
- [Yang00]: J. W. Yang, A. Lunev, G. simin, A. Chitnis, M. Shatalov, M. Asif Khan, Joseph E. Van Nostrand und R. Gaska, Selective area deposited blue GaN-InGa<sub>0.5</sub>N multiple-quantum well light emitting diodes over silicon substrates, *Appl. Phys. Lett.* 76, 273 (2000)

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von rißfreien, planaren Gruppe-III-N, Gruppe-III-V-N und Metall-Stickstoff Bauelementstrukturen auf Si-Substraten mittels epitaktischer Methoden, **gekennzeichnet durch** das teilweise Strukturieren des Si-Substrats oder einer darauf abgeschiedenen Pufferschicht mittels Maskieren und/oder Ätzen der Oberfläche in maskierte Felder im Mikrometerbereich vor der Epitaxie oder auf einer epitak-

tischen Schicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Verwendung von Metall, Metall-Nitrid, Metall-Oxid, BN,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  und/oder  $\text{SiO}_2$  als Maskenmaterial.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, gekennzeichnet durch die Herstellung des Maskenmaterials durch ganzflächige Nitridierung und/oder Oxidierung des Substrates und anschließende Strukturierung wobei das Si-Substrat oder die Pufferschicht teilweise wieder freigelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, gekennzeichnet durch die Herstellung des Maskenmaterials durch photolithographische Strukturierung und anschließende Nitridierung und/oder Oxidierung des Substrates.

5. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, gekennzeichnet durch die Deposition des Maskenmaterials durch Verdampfen, Sputtern und/oder Gasphasendeposition

6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4 und/oder 5, gekennzeichnet durch die Aufbringung einer Metall- und/oder Halbleiterschicht auf Si oder einer Niedertemperaturkeimschicht und/oder Niedertemperaturpufferschicht auch in Verbindung mit einer anschließenden Umwandlung solcher Schichten zur Verringerung der Versetzungsdichte und/oder zur Reduktion bzw. Vermeidung von Rissen in der darauf abgeschiedenen epitaktischen Schicht.

7. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 und/oder 6, gekennzeichnet durch das Aufbringen von Submonolagen bis zu mehreren Monolagen eines Metalls auf dem Substrat vor dem Einschalten des Gruppe-V-Ausgangsstoffs.

8. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 und/oder 7, gekennzeichnet durch das Einbringen von Halogenen vor, während und/oder nach dem Wachstum der Keim- und/oder Pufferschicht zur Vermeidung von Ablagerungen auf den maskierten Bereichen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und/oder 8, gekennzeichnet durch das Aufbringen von einer oder von mehreren reflektierenden Schichten aus Metall, Isolator-, Halbleiter- oder organischen Materialien mittels epitaktischer und/oder anderer Depositionsmethoden wie Sputtern, Aufdampfen und/oder Aufschleudern auf dem Si-Substrat zur Steigerung der Reflektivität bei Anwendung für photonische Bauelemente.

10. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und/oder 9, gekennzeichnet durch das Aufbringen von einer oder von mehreren reflektierenden Schichten auf dem Si-Substrat zur Steigerung der Reflektivität bei Anwendung für photonische Bauelemente.

11. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und/oder 10, gekennzeichnet durch das Aufbringen von Schichtenfolgen mit unterschiedlichem Brechungsindex mittels Zerstäubungs- und/oder epitaktischen Verfahren auf dem Si-Substrat vor dem Wachstum der Bauelementschichten und/oder während bzw. nach dem Wachstum auf den Bauelementschichten zur Verbesserung der Lichtausbeute bei photonischen Bauelementen bzw. als Braggspiegel zur Herstellung von vertikal lichtemittierenden Bauelementen.

12. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 und/oder 11 gekennzeichnet durch die Integration von als Reflektor dienenden Hohlräumen im Si Substrat vor der Schichtabscheidung.

- Leerseite -